

TRANSFERENCIA DE CALOR

MI31A-Fenómenos de Transporte en Metalurgia
Extractiva

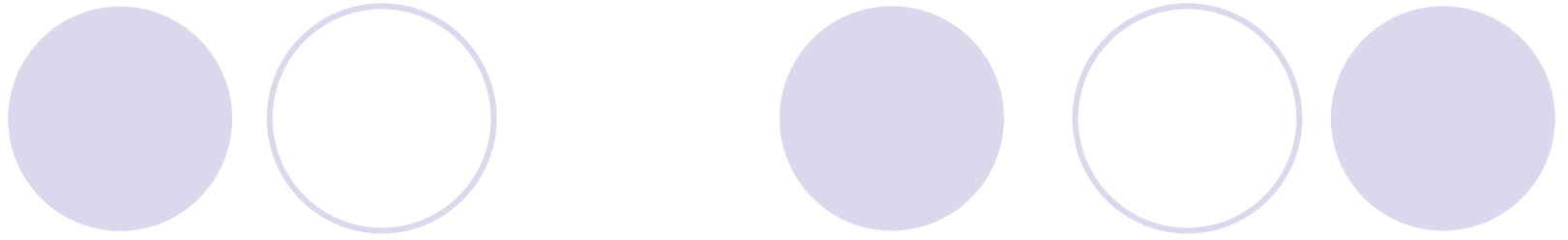
Prof. Tanai Marín

27 Marzo 2007

Clase #5

5.1 Transferencia de Calor No-estacionaria vs Estacionaria

- Luego de iniciar un proceso o al hacer un cambio en éste, habrá un período de tiempo antes de alcanzar el estado estacionario.
- En algunas situaciones, el estado estacionario nunca es alcanzado.
- En otras, el estado estacionario se alcanza muy rápidamente

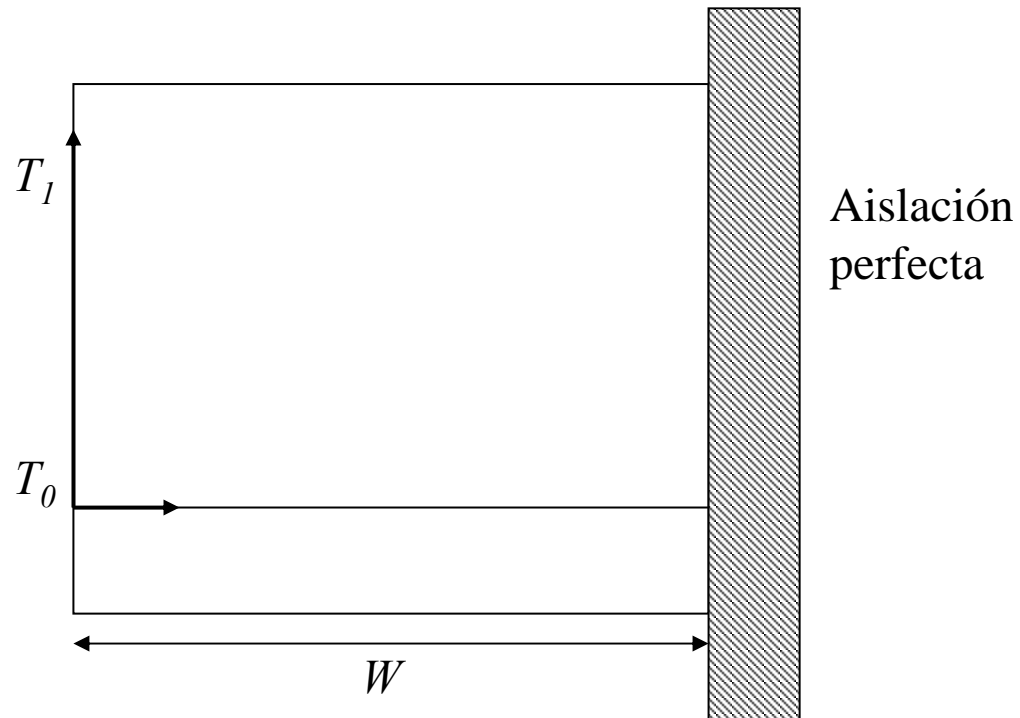


- El objetivo de esta sección es encontrar algunas relaciones que permitan determinar aproximadamente cuánto tiempo tardará en alcanzarse el estado estacionario.

Número de Fourier

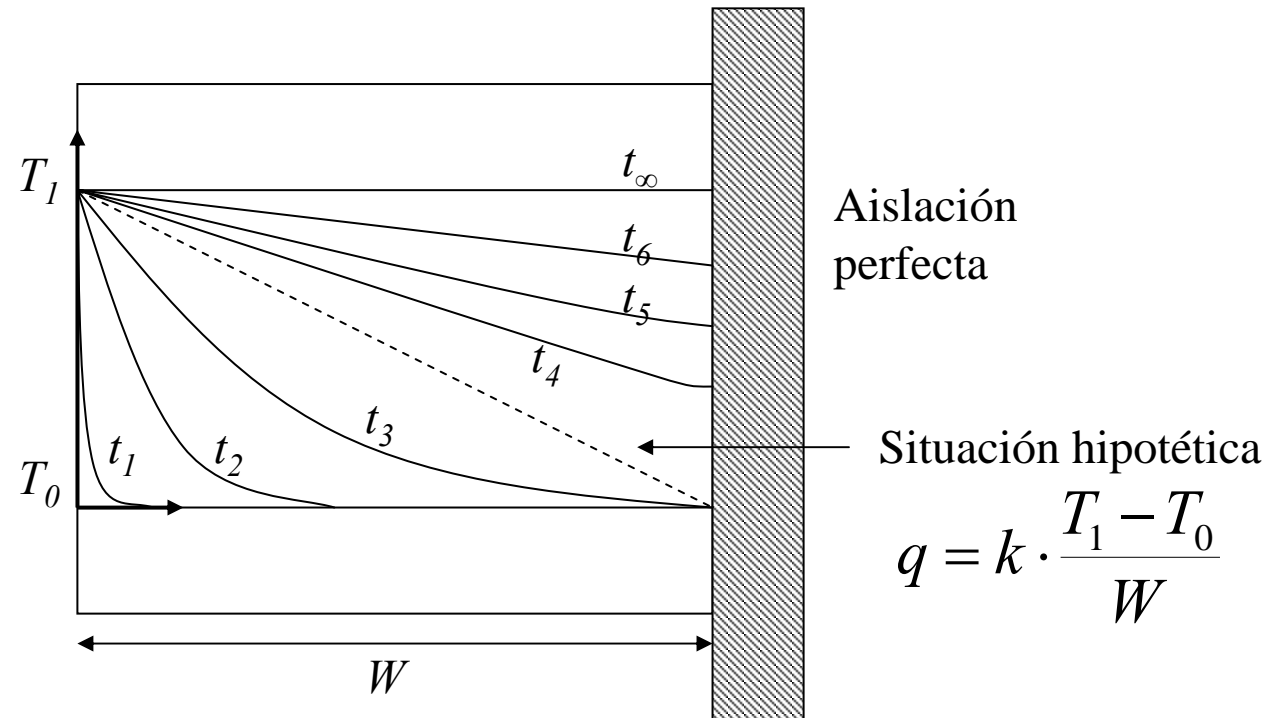
● Consideremos la siguiente situación:

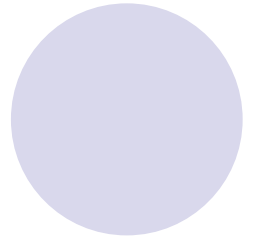
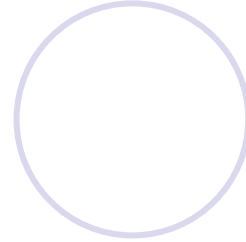
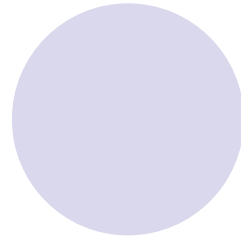
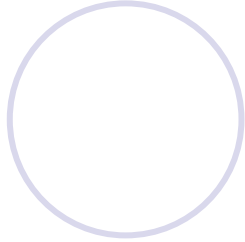
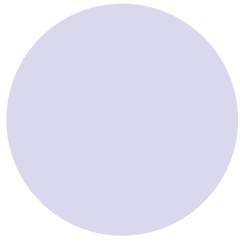
- Sistema de ancho W
- Área A (perpendicular)
- Temperatura inicial uniforme T_0 .
- El sistema se encuentra aislado a la profundidad W
- La Temperatura de la superficie se aumenta a T_1 en $t=0$



Número de Fourier

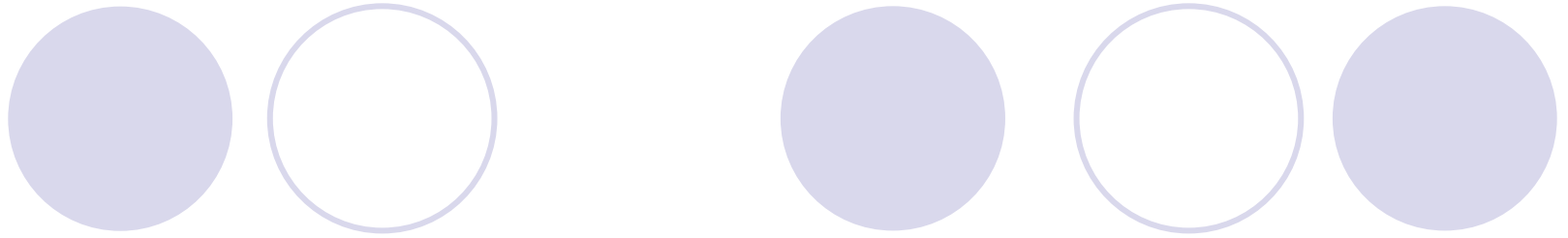
- A medida que transcurre el tiempo:





- Supongamos que el flujo de calor “promedio” desde que se impuso la temperatura T_1 hacia el sistema está dado por:

$$Q[W] = k \cdot A \cdot \frac{T_1 - T_0}{W}$$



- Una vez que la temperatura en el extremo W ha alcanzado la temperatura $T_1 \rightarrow$ régimen estacionario, la cantidad total de calor ingresada al sistema debe ser:

$$\Delta H[\text{J}] = m[\text{kg}] \cdot c_p \left[\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right] (T_1 - T_0)[\text{K}]$$

$$\Delta H[\text{J}] = c_p \cdot \rho \cdot A \cdot W \cdot (T_1 - T_0)$$



- La cantidad de energía ingresada debe igualar al flujo de calor por el tiempo necesario para lograr estado estacionario:

$$k \cdot A \cdot \frac{T_1 - T_0}{W} \cdot t = c_p \cdot \rho \cdot A \cdot W \cdot (T_1 - T_0)$$

- Por lo tanto, para el flujo de calor hipotético:

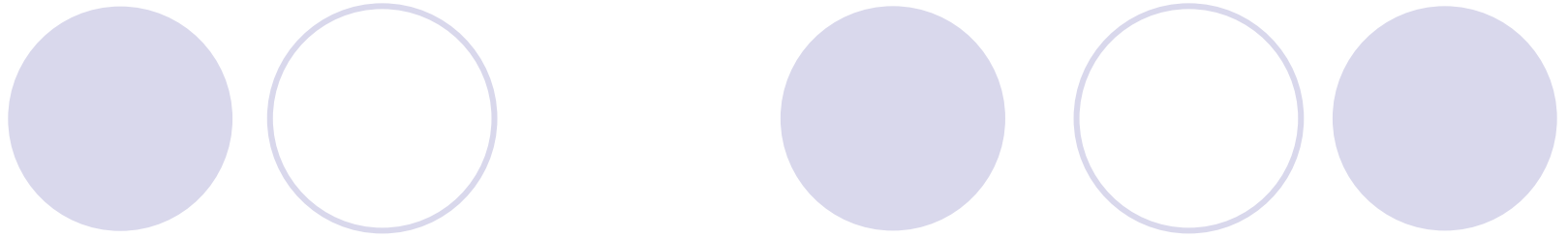
$$t = \frac{c_p \cdot \rho}{k} \cdot W^2 = \frac{W^2}{\alpha}$$



- Se define el tiempo adimensional dado por la última relación, como el número de Fourier (Fo):

$$Fo = \frac{\alpha \cdot t}{W^2}$$

- Al aumentar esta razón con el tiempo, significa que el estado estacionario se acerca.
- Si $Fo < 1$, el proceso de conducción acaba de comenzar y no se ha alcanzado estado estacionario.



- En realidad, para el caso descrito anteriormente, se ha establecido que el estado estacionario se logra cuando:

$$Fo > 2$$

- Esta situación también es aplicable a una placa de ancho $2W$ y temperatura inicial T_0 y la temperatura de ambas caras es repentinamente cambiada a T_1 .

Criterios para estado estacionario

Placa o Bloque, situación:	Criterio para estado estacionario
Ancho W ; Un extremo aislado; una superficie con cambio de temperatura	$Fo = \frac{\alpha \cdot t}{W^2} \geq 2$
Ancho $2W$; Ambas superficies expuestas al mismo cambio repentino de temperatura	$Fo = \frac{\alpha \cdot t}{W^2} \geq 2$
Ancho W ; Un lado mantenido a la temperatura inicial; Una superficie con cambio repentino de temperatura	$Fo = \frac{\alpha \cdot t}{W^2} \geq 1$
Ancho W ; Una superficie con cambio brusco de temperatura (T_0 a T_1), la otra superficie cambia de T_0 a T_W debido a convección en esa superficie	$Fo = \frac{\alpha \cdot t}{W^2} \geq 1 + \frac{T_W - T_0}{T_1 - T_0}$

5.2 Conducción no-estacionaria

- El balance de calor para un sistema transiente es:

Acumulación = Entrada + generación – salida -
consumo

$$\frac{d(\text{Calor})}{dt} = q_{in} + q_{gen} - q_{out} - q_{cons}$$



- El cambio de energía o calor de un sistema debido a cambios de temperatura está dado por:

$$d(\text{Calor})[\text{J}] = m \cdot c_p \cdot dT = \rho \cdot V \cdot c_p dT$$

- Con capacidad calórica constante, la acumulación de calor en el tiempo debido a cambios de temperatura es:

$$\frac{d(\text{Calor})}{dt} \left[\frac{\text{J}}{\text{s}} \right] = \rho \cdot V \cdot c_p \frac{dT}{dt}$$



- En el caso particular de conducción en una dimensión, sin generación o consumo y con flujos de calor dados, el balance de energía queda:

$$\rho \cdot (A \cdot L) \cdot c_p \frac{dT}{dt} = A \cdot (q_{in} - q_{out})$$

y

$$\rho \cdot L \cdot c_p \frac{dT}{dt} = q_{in} - q_{out}$$

Ejemplo, conducción transiente 1D

- Durante el calentamiento de una muralla de 0.05 m de espesor, en algún momento, el flujo de calor hacia la muralla era de 200 W/m^2 y desde la muralla, 50 W/m^2 . la densidad es de 750 kg/m^3 y la capacidad calorífica, de $1250 \text{ J/(kg } ^\circ\text{C)}$. Determine la tasa de calentamiento promedio de la muralla en ese momento.